

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra hydromechaniky a hydraulických**  
**zařízení**

**Návrh čerpacího modulu pro dopravu  
vodného roztoku močoviny**

**Design of Pump Module for Transport  
of Urea solution**

Student:

Tomáš Kiszka

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Blejchař, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Kiszka**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení  
Téma: **Návrh čerpacího modulu pro dopravu vodného roztoku močoviny**  
**Design of Pump Module for Transport of Urea Solution**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte čerpací modul pro dopravu vodného roztoku močoviny s následujícími parametry:  
průtok  $Q=1000 \text{ l/h}$  a výstupní tlak  $p=1 \text{ MPa}$ . Čerpací modul musí splňovat následující podmínky:

- 1) Modul musí být navržen jako tvrdý zdroj konstantního tlaku.
- 2) Modul musí být koncipován jako přenosné zařízení.
- 3) Modul musí obsahovat dvě čerpadla - 100% záloha.

Vzhledem k tomu, že vodný roztok močoviny je korozivní látka, je tedy nutné, aby všechny prvky tj. ventily, čerpadla, potrubí atd. byly z korozivzdorného materiálu - plast či nerezová ocel např. 1.4407. Navrhněte veškeré prvky čerpadlového modulu tak, aby bylo možné zařízení realizovat.

Vypracujte základní výkresovou dokumentaci modulu (min. hydraulické schéma a sestavný výkres včetně kusovníku).

Rozsah práce: 30-40 str. textu, výkresová dokumentace min. jeden výkres A3.

### Seznam doporučené odborné literatury:

1. PAVLOK, Bohuslav; KOPÁČEK, Jaroslav. *Tekutinové mechanizmy*. VŠB-TU Ostrava, 1997. 151 s. ISBN 80-7078-238-2.
2. BRADA, Karel; BLÁHA, Jaroslav. *Čerpací technika*. České vysoké učení technické, 1991. 157 s. ISBN 80-01-00686-7.
3. HRADIL, František. *Potrubní systémy*. VŠB-TU Ostrava, 1994. 159 s. ISBN 80-7078-253-6.
4. MEDEK, Jaroslav. *Potrubní technika*. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1973. 244 s.
5. NECKÁŘOVÁ, Jarmila; DOSKOČIL, Ladislav. *Potrubí a armatury*. České vysoké učení technické, 1978. 172 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Blejchař, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21.5.2018



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou\*) práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21.5.2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Kiszka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Padoly 18/40, 747 23, Bolatice

#### ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KISZKA, T. *Návrh čerpacího modulu pro dopravu vodného roztoku močoviny: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra

hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2018, 38 s. Vedoucí práce: Blejchař, T.

Bakalářská práce se zabývá návrhem mobilního čerpacího modulu pro přečerpávání roztoku močoviny dle zadaných parametrů. V úvodní části bakalářské práce jsou popsány základní informace o močovíně, roztoku močoviny, čerpadla a prvcích navrhovaného obvodu. Druhá část bakalářské práce se zabývá rozsáhlejším výběrem prvků, které jsou dostupné na trhu. V další části jsou vybrány nejvhodnější prvky pro sestavení systému. Výkres sestavy čerpacího modulu je přiložen v příloze bakalářské práce.

#### ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KISZKA, T. *Design of Pump Module for Transport of Aqueous Urea Solution: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Devices, 2018, 38 p. Thesis head: Blejchař, T.

The bachelor thesis deals with the design of the mobile pumping module for pumping the urea solution according to the specified parameters. In the introductory part of the bachelor thesis are described basic information about urea, urea solution, pumps and elements of the proposed circuit. The second part of the bachelor thesis deals with a wider choice of elements that are available on the market. In the next sections, the most appropriate elements for building the system are selected. Drawing of the pump module assembly is enclosed in the bachelor thesis attachment.

## Obsah

1	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	1
2	ÚVOD .....	2
3	ZÁKLADNÍ INFORMACE.....	3
3.1	Čerpadla .....	3
3.1.1	Hydrostatická (objemová) čerpadla.....	3
3.1.2	Hydrodynamická čerpadla .....	4
3.2	Regulace průtoku .....	4
3.3	Řízení tlaku .....	5
4	VODNÝ ROZTOK MOČOVINY .....	6
4.1	Močovina .....	6
4.2	Vodný roztok .....	6
4.3	Výroba vodného roztoku močoviny .....	7
4.4	Skladování .....	9
5	SCHÉMA ČERPACÍHO MODULU .....	10
6	NÁVRH PRVKŮ ČERPACÍHO MODULU.....	11
6.1	Výběr čerpadel.....	11
6.1.1	Speroni VS 2 2-15 .....	11
6.1.2	IN-VB-2 2-140 .....	12
6.1.3	CME1-9 A-R-G-E-AQQE.....	14
6.1.4	CME3-9 A-R-G-E-AQQE.....	16
6.1.5	CM3-11 A-R-G-E-AQQE .....	17
6.2	Kohouty .....	19
6.2.1	MJ1010_1 .....	19
6.2.2	MB2022_1 .....	19
6.2.3	MB3010_1 .....	20
6.3	Přepouštěcí ventil.....	21
6.3.1	BPVT-25S .....	21
6.3.2	M 44-7 .....	22
6.4	Filtr.....	23
6.4.1	Potrubní filtr model 230 .....	23
6.4.2	BRA.10.000 .....	24
6.5	Tlakoměry .....	26
6.5.1	P 411 LM.....	26
6.5.2	MNS115 .....	26
6.5.3	PEME8AEB20R020.....	27

6.6	Potrubí.....	28
7	NÁVRH VÝBĚRU KONEČNÝCH PRVKŮ .....	29
8	VÝPOČET TLAKOVÝCH ZTRÁT.....	30
9	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE .....	33
10	ZÁVĚR .....	35
11	SEZNAM ZDROJŮ .....	36
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	38
13	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	38
14	SEZNAM GRAFŮ.....	38



# 1 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

## Veličiny a jednotky

Rp	vnitřní závit válcový
BSP G	trubkový závit se stálým průměrem v palcích (inch, ")
DN	jmenovitá světlost (vnitřní průměr v mm)
SCR	Selective Catalytic Reduction (selektivní katalytická redukce) s. r. o. společnost s ručením omezeným
IN-VB	klasická oválná příruba
IBC KONTEJNER	moderní obal, který slouží k uskladňování a přepravě kapalných
L	délka vedení [m]
Q	objemový průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
QSKUT	skutečný objemový průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
Re	Reynoldsovo číslo [-]
S	plocha [ $\text{m}^2$ ]
T	teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]
d	vnitřní průměr vedení [m]
kv	průtok při dané poloze ventilu a tlakovém rozdílu 1 bar. [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
n	otáčky [ $\text{s}^{-1}$ ]
p	tlak [Pa]
$\Delta p_z$	tlaková ztráta [Pa]
v	rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
$\eta$	dynamická viskozita [ $\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$ ] ekvivalentně [Pa.s]
$\lambda$	součinitel tření [-]
$\nu$	kinetická viskozita [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
$\pi$	Ludolfovo číslo ( $\pi = 3,14159$ )
$\rho$	hustota [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

## 2 ÚVOD

Navrhovaný čerpací modul pro dopravu vodného roztoku močoviny bude sloužit k přečerpávání z IBC kontejneru do pokusného modulu, který slouží ke snižování emisí NO<sub>x</sub> pomocí metody selektivní nekatalytické redukce. Celý modul musí být z korozivzdorných materiálů a musí být mobilní, zajišťovat konstantní tlak a průtok musí obsahovat dvě čerpadla z důvodu 100% zálohy.

## 3 ZÁKLADNÍ INFORMACE

### 3.1 Čerpadla

Čerpadla jsou stroje, které dodávají kapalině energii, která je využívána nejčastěji pro dopravu kapalin z jednoho místa na druhé, pro zvyšování tlakové a kinetické energie. Podle toho, jak se vyvozuje čerpací účinek, rozdělujeme čerpadla do tří skupin:

- Hydrostatická (objemová) čerpadla
- Hydrodynamická čerpadla
- Speciální čerpadla

#### 3.1.1 Hydrostatická (objemová) čerpadla

Jsou čerpadla s přímou přeměnou mechanické energie na energii tlakovou. Při této přeměně je uplatňován Pascalův zákon. Pomocí pohyblivého členu (píst, zub, membrána, hadice) je přímo vytvářen tlak na kapalinu čímž se tlaková energie přímo zvyšuje, proto tato čerpadla pracují s velkou účinností. Nejčastěji používaná čerpadla (někdy nazývané hydromotory) jsou pístová čerpadla s vratným přímočarým pohybem.

Hydrostatická čerpadla mají velkou účinnost, dobrou sací schopnost, s klesajícím tlakem úměrně klesá příkon, regulace průtoku je složitější, nedá se použít regulace škrcením na výtlačku.

Rozdělení:

- Rotační čerpadla – zubová, vřetenová, lamelová, radiální nebo axiální pístová, s odvalujícími písty, hadicová
- Čerpadla s kmitavým pohybem – pístová, membránová, plunžrová, křídlová

V praxi se používají objemová čerpadla pro nejrůznější aplikace tam, kde jsou potřeba vyšší tlaky do 50 MPa a malé průtoky. Nejčastěji se používají v oblasti hydraulických mechanismů či servomechanismů<sup>7</sup>.

### 3.1.2 Hydrodynamická čerpadla

U těchto čerpadel probíhá nepřímá přeměna. Mechanická energie dodávána motorem se mění na kinetickou energii pomocí oběžného kola a ta se ve spirále nebo v rozváděcím kole přemění na energii tlakovou. Proto tato čerpadla mají menší účinnost než čerpadla hydrostatická.

Hydrodynamická čerpadla pracují s vyššími otáčkami a zvládají velké průtoky, mají menší rozměry a hmotnost, a proto jsou cenově výhodnější. Tato čerpadla se rozdělují podle směru proudění kapaliny do oběžného kola do tří skupin:

- Radiální čerpadla – čerpaná kapalina vstupuje do oběžného kola rovnoběžně s osou kola
- Axiální čerpadla (vrtulová) – kapalina vstupuje i vystupuje u oběžného kola axiálně
- Diagonální čerpadla – do oběžného kola kapalina vstupuje šikmo k ose kola<sup>7</sup>

### 3.2 Regulace průtoku

Regulace průtoku se používá, protože provozní bod čerpadla a potrubí nemusí splňovat podmínku, že průtok čerpadla je stejný jako je průtok požadovaný. Známe několik typů regulací průtoku:

- Regulace změnou otáček čerpadla
- Regulace objemu čerpadla
- Regulace škrcením průtoku – pomocí regulační armatury, jednoduchá metoda, energeticky nevýhodná
- Regulace obtokem – při této regulaci se přepouští část čerpaného průtoku z výtlačného potrubí zpět do nádrže
- Regulace změnou průměru oběžného kola – provádí se pomocí obrobením oběžného kola na menší průměr, tato metoda je nevratná
- Regulace natáčením lopatek – používá se u axiálních čerpadel, jedná se o nejeekonomičtější regulaci, můžeme pracovat vždy s maximální účinností<sup>8</sup>

### 3.3 Řízení tlaku

Prvkům pro řízení tlaku se říká tlakové ventily. Tyto ventily rozlišujeme podle funkce na pojistné, přepouštěcí, redukční. Podle konstrukce je dělíme na šoupátkové a sedlové, sedlové dělíme na kuličkové, kuželové, jehlové. Podle způsobu řízení je rozdělujeme na přímo řízené a nepřímo řízené (dvoustupňové). Jednostupňové ventily mohou být ovládány ručně, nebo elektromagnety, dvojestupňové jsou ovládány tlakem. Dále tlakové ventily dělíme na ventily, které jsou v základní poloze zavřené (neprůtočné), nebo otevřené (průtočné).

- Pojistný ventil – hlídá, aby tlak v systému nepřekročil nastavený tlak, plní bezpečnostní funkci, a proto se musí rychle otevírat, je v systému uložen paralelně a při přetížení systému odvádí kapalinu zpět do nádrže.
- Přepouštěcí ventil – slouží k dlouhodobému přepouštění kapaliny zpět do nádrže pro udržení stejného tlaku, na rozdíl od pojistného ventilu se nevyžaduje rychlost, ale vyšší zatlumení ventilu, aby byl průtok ventilem stabilizován
- Redukční ventil – slouží k snížení vstupního tlaku na tlak výstupní a je zapojen na rozdíl od pojistného a přepouštěcího ventilu do série<sup>8</sup>

## 4 VODNÝ ROZTOK MOČOVINY

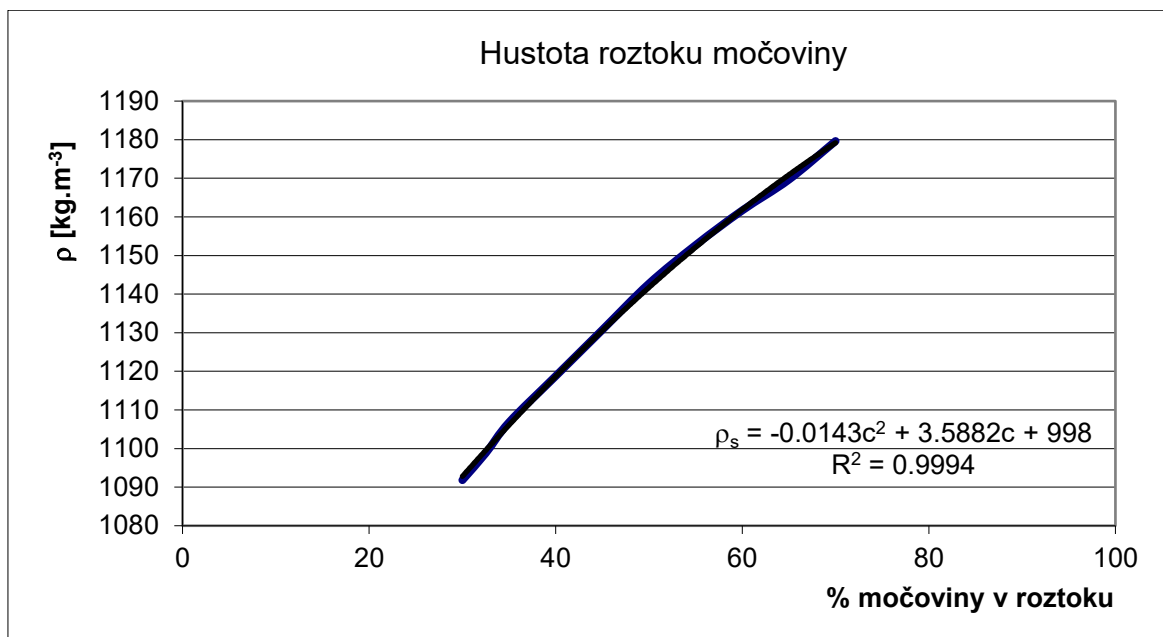
### 4.1 Močovina

Močovina je organická látka složená z uhlíku (C), dusíku (N), kyslíku (O) a vodíku (H). Vyrábí se technickou syntézou z amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Jedná se o složitý a energeticky náročný proces. Největší množství močoviny (asi 90%) se spotřebuje v zemědělství jako hnojivo. Dále se používá v chemickém průmyslu například pro výrobu některých plastů, také se přidává do krmiva (siláže) hospodářských zvířat, v kosmetice, nebo jako náhrada místo soli jako posypový materiál. Dále se používá jako látka, která je vstřikována do výfukových spalin jako prostředek pro snížení obsahu škodlivých látek. Močovina v pevném stavu je bílá krystalická látka.

- Vzorec:  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$
- Hustota:  $1,32 \text{ g/cm}^3$
- Molární hmotnost:  $60,07 \text{ g.mol}^{-1}$

### 4.2 Vodný roztok

Je čirý roztok, který se skládá z chemicky čisté syntetické močoviny a demineralizované vody. Termín demineralizovaná voda znamená, že voda je vyčištěna vícestupňovou reverzní osmózou. Reverzní osmóza je zařízení, které pomocí polopropustných membrán odstraňuje z vody rozpuštěné minerály a soli, které jsou v pitné vodě obsaženy a pro člověka jsou neškodné, ale pro SCR (selektivní katalytický redukční systém) zařízení škodlivé jsou.<sup>9</sup>

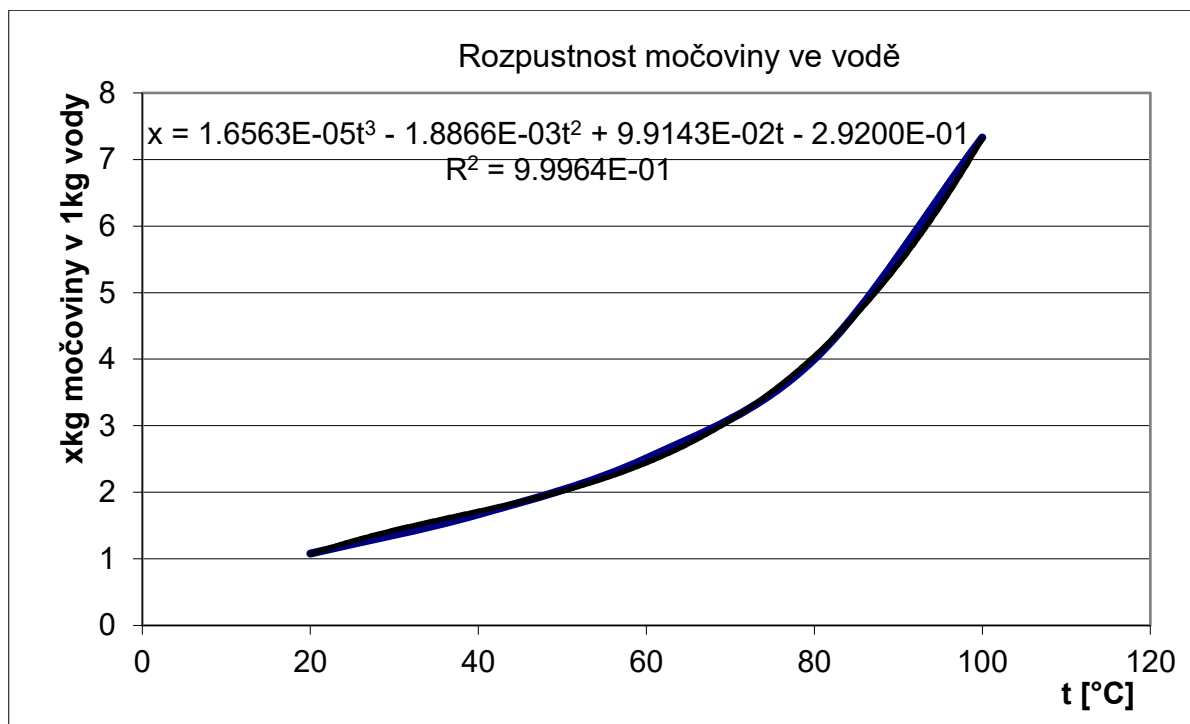


Graf 1 Hustota roztoku močoviny závislá na koncentraci<sup>10</sup>

V naší aplikaci se používá 45% roztok močoviny. Z grafu č.1 můžeme vyčíst, že roztok o obsahu 45 % močoviny a 55 % demineralizované vody má hustotu 1130 kg.m<sup>-3</sup>. Dynamická viskozita při 25 °C je přibližně 0,0014 N.s.m<sup>-2</sup>

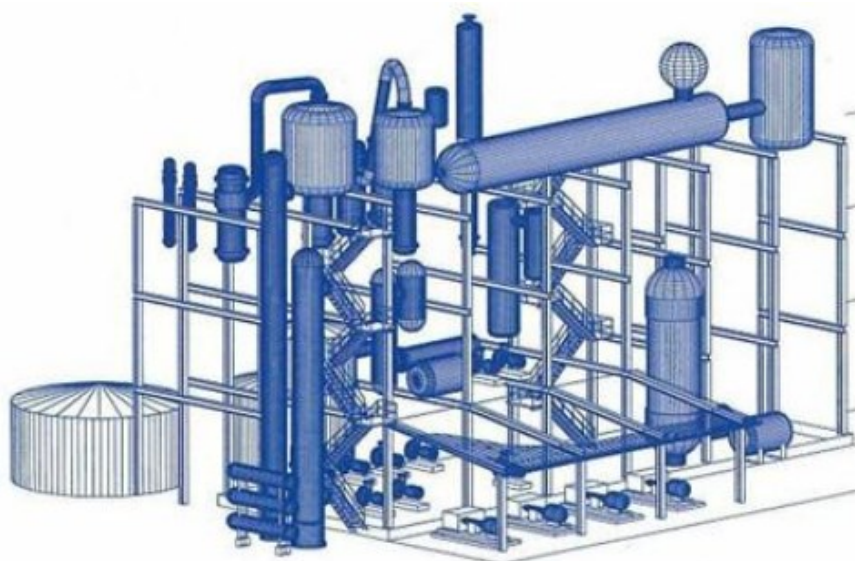
### 4.3 Výroba vodného roztoku močoviny

Výroba může probíhat přímo v chemickém závodě. Čerstvě vyrobená močovina se rozpustí v demineralizované vodě na požadovanou koncentraci, tato výroba je lepší z důvodu vstupu vyšší teploty močoviny a tím pádem lepší rozpustnosti ve vodě. Nevýhodou jsou vysoké dopravní náklady na rozvoz roztoku na větší vzdálenosti, protože většina hmotnosti koncentráту je voda. Proto se často vyrábí tak, že se močovina doveze blíže k zákazníkovi a až tam je z ní vyroben roztok dané koncentrace. K tomuto účelu se vyrábí speciální typ močoviny, který se liší zejména vysokou chemickou čistotou a tím, že granule nemají povrchovou úpravu proti spékání. V tomto zařízení je demineralizovaná voda zahřívána na teplotu 40-45 °C a do ní je dávkována močovina tak, aby vznikl předepsaný roztok močoviny. Tento proces je poměrně rychlý, protože močovina je dobře rozpustná v teplé vodě. Ve studené vodě močovinu rozpouštět nejde, protože při rozpuštění dochází k prudkému ochlazení a roztok zamrzá. Posledním stupněm výroby je filtrace, kdy je roztok filtrován přes filtrační jednotku.<sup>9</sup>



*Graf 2 Závislost rozpustnosti x kg močoviny v 1kg vody<sup>10</sup>*

Vodný roztok močoviny začíná krystalizovat při teplotě -11,5 °C. Při této teplotě není doporučeno ho používat, proto se musí při teplotách pod bodem mrazu zahřívat. Z grafu č.2 vidíme, že čím teplejší vodu máme, tím více močoviny ve vodě rozpustíme, ale rostou náklady na ohřev vody. Proto se musíme rozhodnout, jestli potřebujeme vysokou koncentraci, nebo nám postačí menší koncentrace s menšími náklady<sup>9</sup>.



*Obrázek 1 Schéma závody na výrobu močoviny<sup>11</sup>*

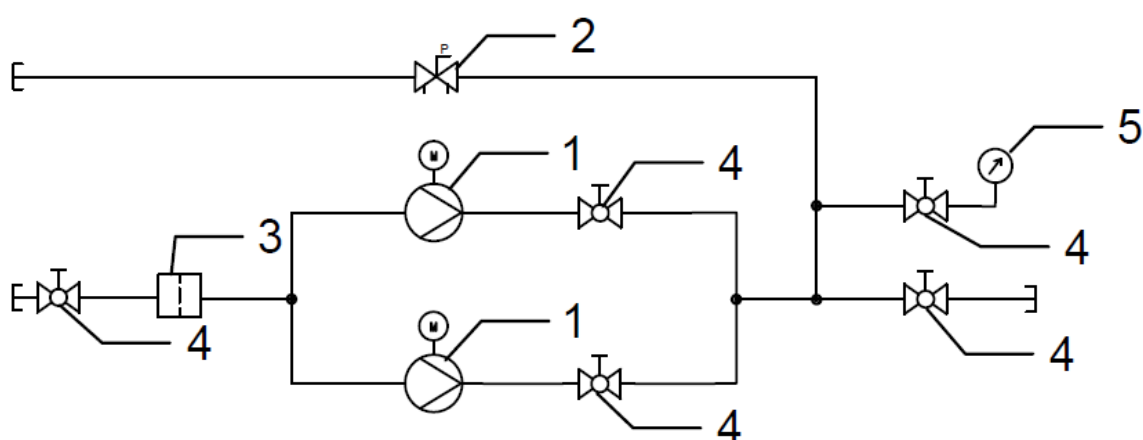


#### **4.4 Skladování**

Kapalinu je nutné skladovat v nádržích chráněných před sluncem. Při teplotě  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$  vodný roztok zamrzá, a proto se musí zahřívat a skladuje se při teplotách od  $-5$  do  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při teplotách vyšší než  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  se kapalina rozkládá na amoniak (čpavek) a oxid uhličitý, což se projevuje čpavkovým zápachem kapaliny<sup>9</sup>.

## 5 SCHÉMA ČERPACÍHO MODULU

Čerpací obvod se skládá ze dvou větví, hlavní a odlehčovací. Na hlavní větvi jsou paralelně zapojená dvě čerpadla kvůli 100% záloze, k přepínání čerpadel slouží kulové ventily, kterých je v obvodu pět. Před čerpadly je umístěn filtr hrubých částic, kvůli toho, aby čerpadla nenasála hrubé nečistoty a tím se poškodila. Na odlehčující větvi se nachází manometr, na kterém můžeme kontrolovat tlak a dále se nachází přepouštěcí ventil, který hlídá nepřekročení tlaků 1MPa, když se tlak zvětší nad nastavený tlak, tak přepouštěcí ventil zareaguje a přebytečnou kapalinu odpustí zpět do nádrže.



Obrázek 2 Schéma čerpacího modulu<sup>12</sup>

1. Čerpadlo s elektromotorem
2. Přepouštěcí ventil
3. Filtr do potrubí
4. Kulový kohout
5. Manometr

## 6 NÁVRH PRVKŮ ČERPACÍHO MODULU

Prvky vybírám, z důvodu agresivity močoviny, nerezové nebo plastové.

### 6.1 Výběr čerpadel

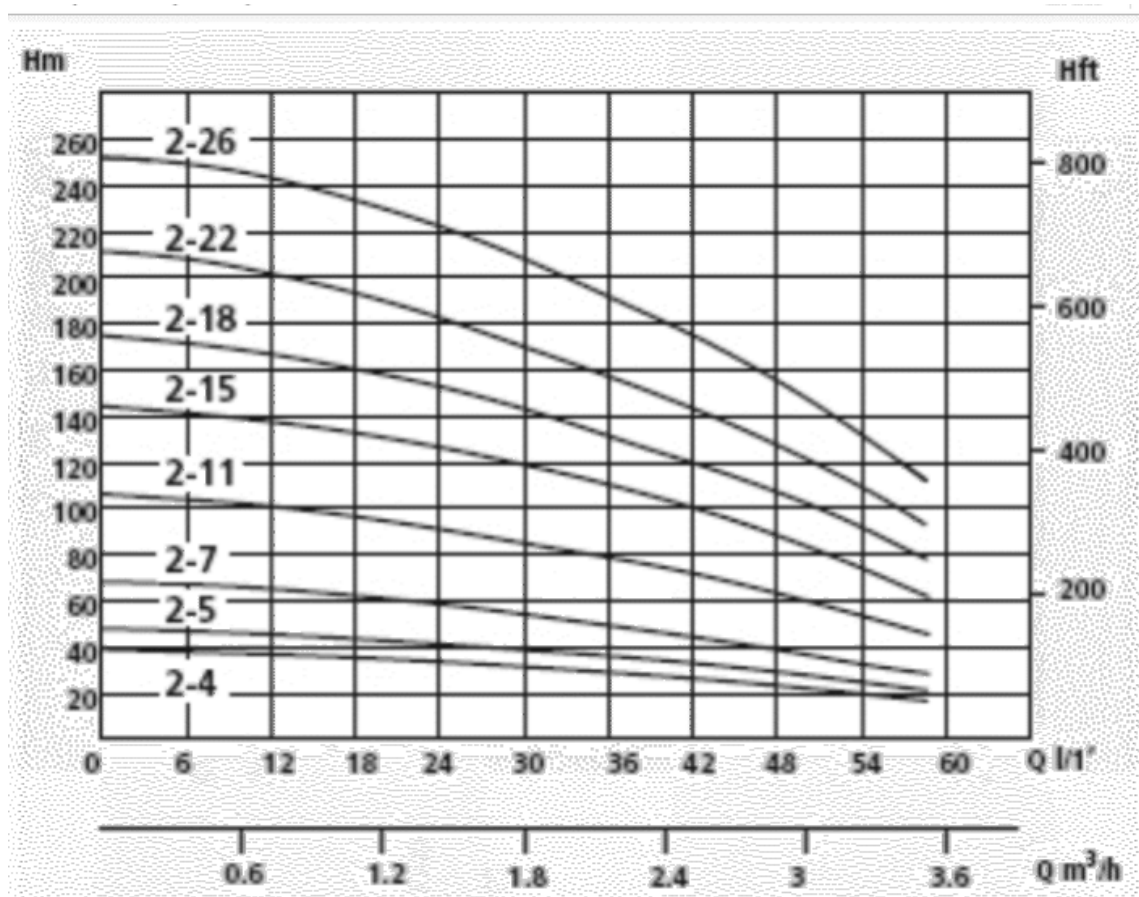
Vybírám hydrodynamická čerpadla.

#### 6.1.1 Speroni VS 2 2-15

Nerezové vícestupňové čerpadlo od firmy Speroni pro trvalé zatížení. Těleso a oběžná kola čerpadla jsou z nerezové oceli 304,1. Čerpadlo má mechanickou ucpávku ze silikon/grafitu. Čerpadlo bude osazeno 1,5 kW třífázovým elektromotorem na 400V<sup>13</sup>.



Obrázek 3 Čerpadlo Speroni VS 2 2-15<sup>13</sup>



Obrázek 4 Graf pracovní oblasti čerpadla Speroni VS 2 2-1<sup>13</sup>

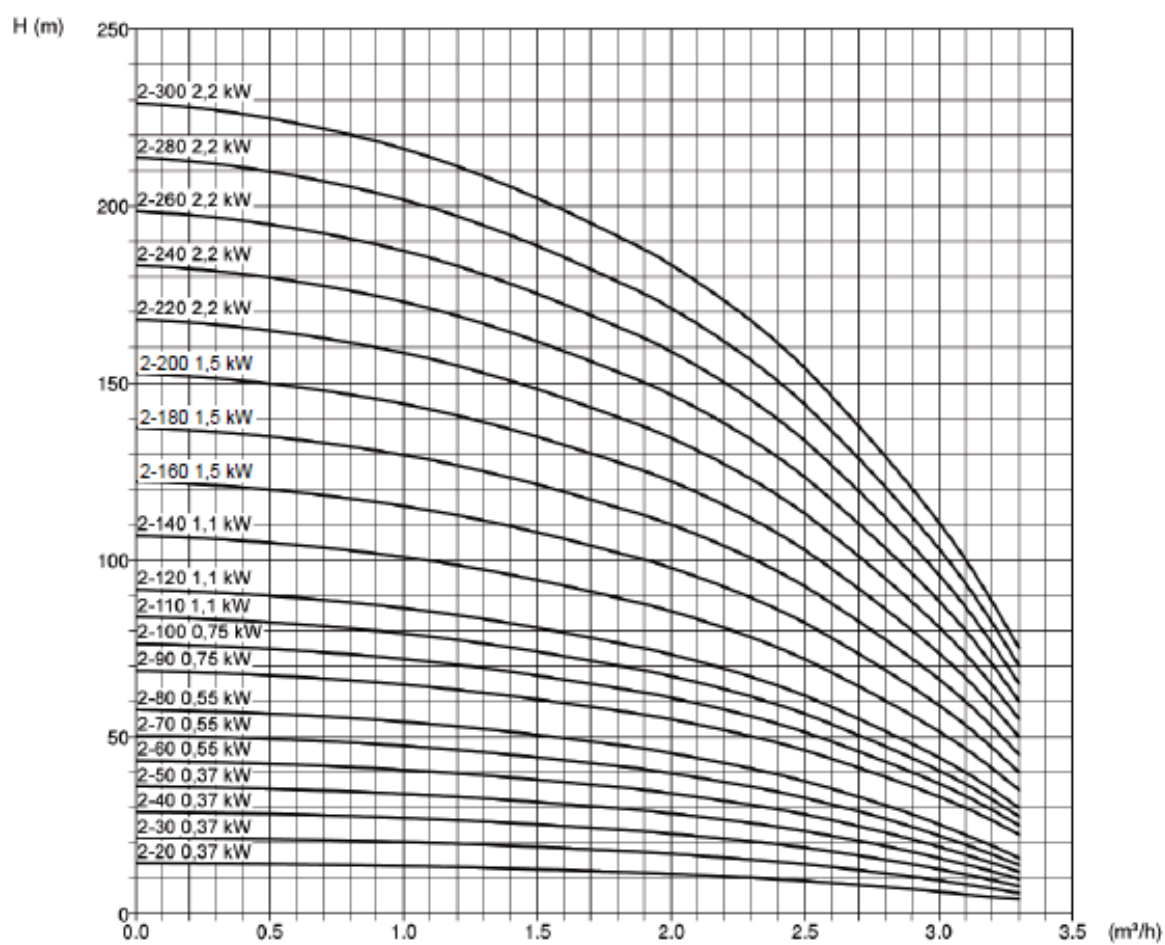
#### 6.1.2 IN-VB-2 2-140

Vertikální odstředivé vícestupňové čerpadlo od firmy Sigmet. U tohoto čerpadla jsou všechny části vyrobeny z nerezové oceli 1.4301, toto čerpadlo má keramická ložiska, které jsou mazány dopravovanou kapalinou a jsou osazeny 1.1 kW s třífázovým elektromotorem. Váha čerpadla s elektromotorem je 27.2 Kg.

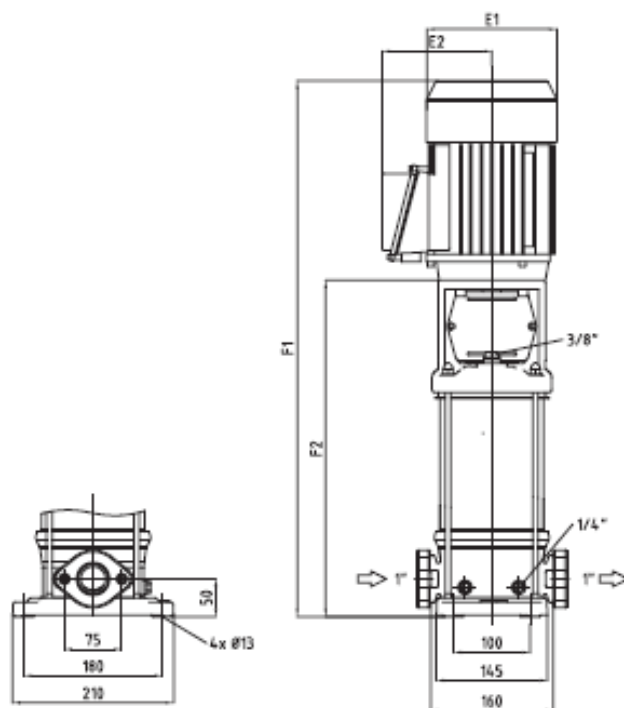
IN-VB – Klasická oválná příruba<sup>14</sup>



Obrázek 5 Čerpadlo IN-VB-2 2-140<sup>14</sup>



Obrázek 6 Graf pracovní oblasti čerpadla IN-VB-2 2-140<sup>14</sup>



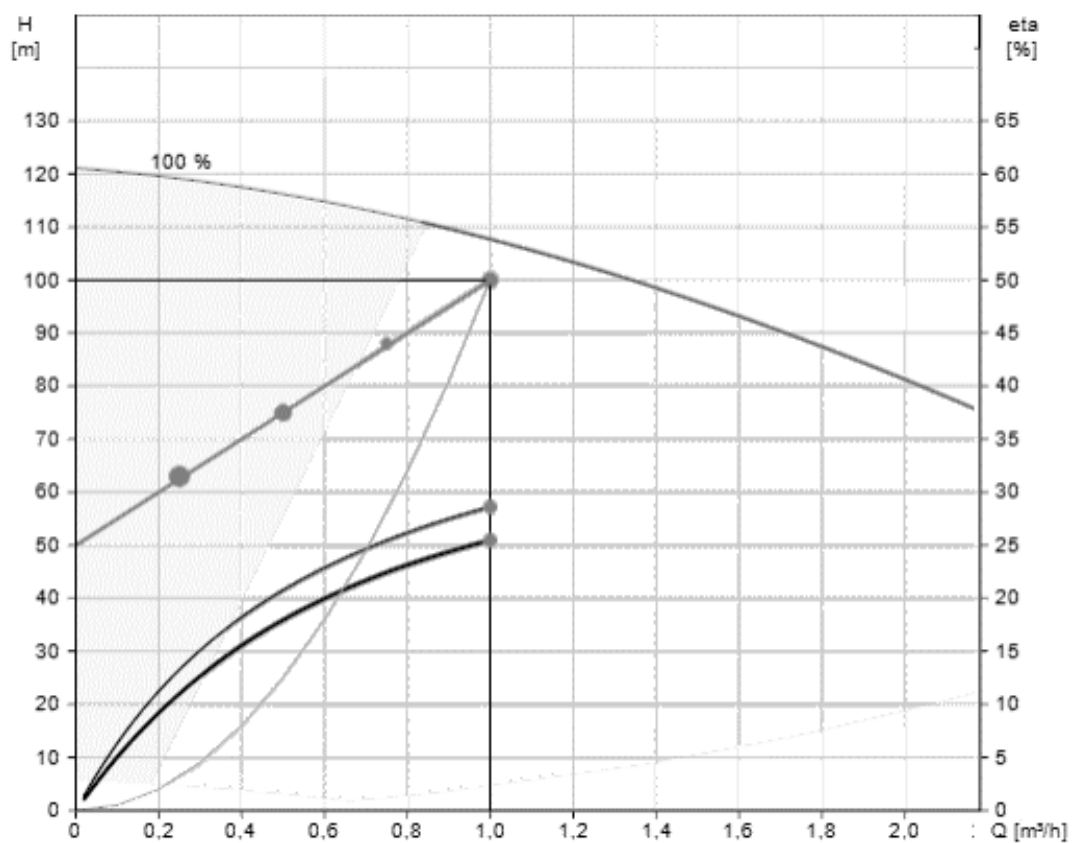
Obrázek 7 Rozměry čerpadla IN-VB-2 2-14014

### 6.1.3 CME1-9 A-R-G-E-AQQE

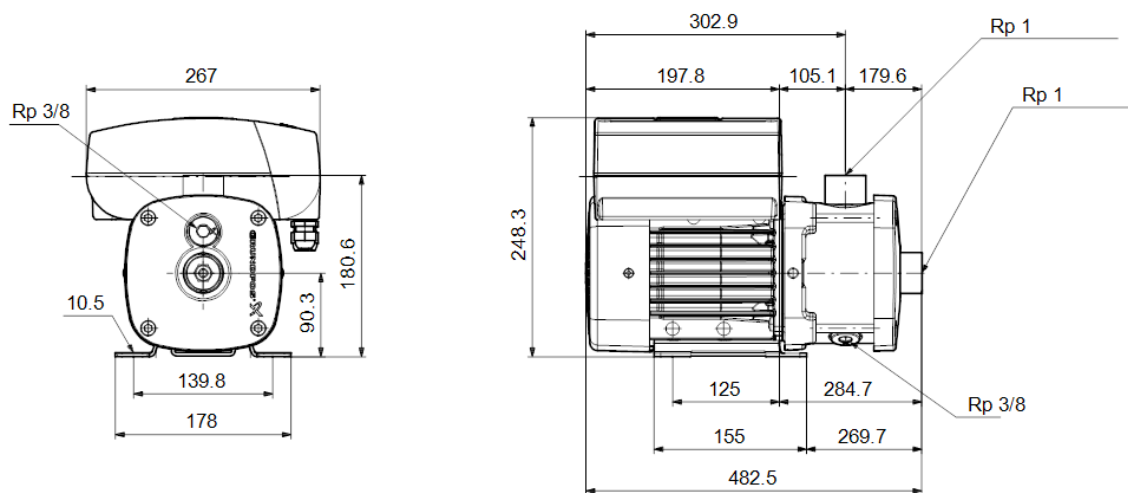
Kompaktní, horizontální vícestupňové odstředivé čerpadlo. Všechny součásti, které přijdou do styku s čerpanou kapalinou jsou s korozivzdorné oceli 1.4401. Čerpadlo má mechanickou ucpávku. Pro připojení do oběhu složí příruba se závitem Rp 1. Toto čerpadlo je napájeno motorem na 380V s výkonem 1.5 kW. Motor obsahuje frekvenční měnič, ten umožňuje regulovat otáčky motoru. Hmotnost čerpadla je 22 kg. Maximální provozní tlak je 1,6 MPa<sup>15</sup>.



Obrázek 8 Čerpadlo CME1-9 A-R-G-E-AQQE<sup>15</sup>



Obrázek 9 Graf pracovní oblasti čerpadla CME1-9 A-R-G-E-AQQE<sup>15</sup>



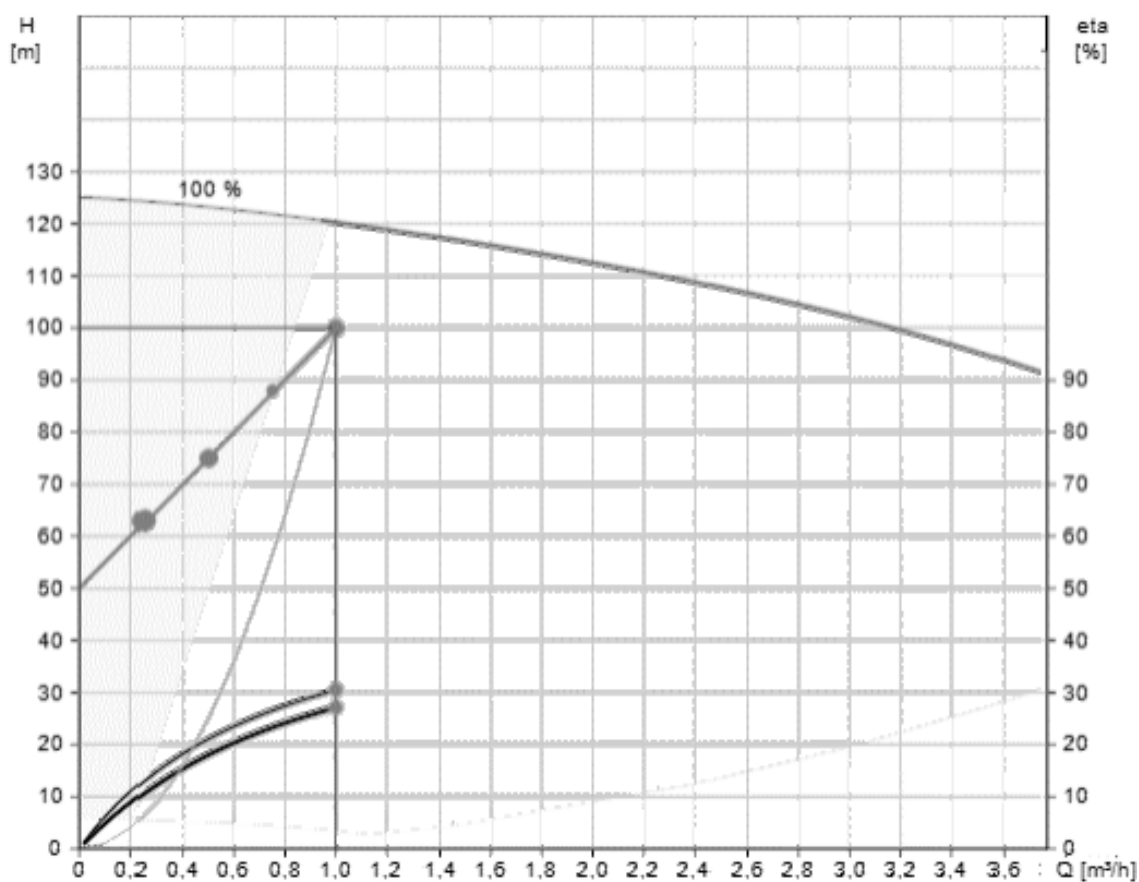
Obrázek 10 Velikost čerpadla CME1-9 A-R-G-E-AQQE<sup>15</sup>

#### 6.1.4 CME3-9 A-R-G-E-AQQE

Kompaktní, horizontální vícestupňové odstředivé čerpadlo. Všechny součásti, které přijdou do styku s čerpanou kapalinou jsou s korozi-vzdorné oceli 1.4401. Čerpadlo má mechanickou ucpávku, pro připojení do oběhu složí příruba se závitem Rp 1. Toto čerpadlo je napájeno motorem na 380V s výkonem 2.2 Kw. Motor obsahuje frekvenční měnič, ten umožňuje regulovat otáčky motoru. Hmotnost čerpadla je 23.5 kg. Maximální provozní tlak je 1,6 MPa<sup>16</sup>.

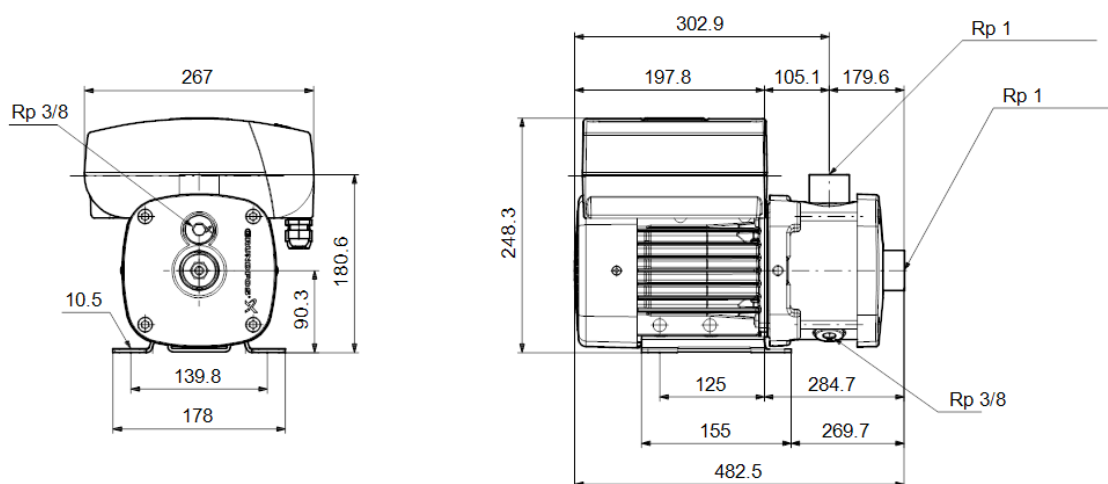


Obrázek 11 čerpadla CME3-9 A-R-G-E-AQQE<sup>16</sup>



Obrázek 12 Graf pracovní oblasti čerpadla CME3-9 A-R-G-E-AQQE<sup>16</sup>

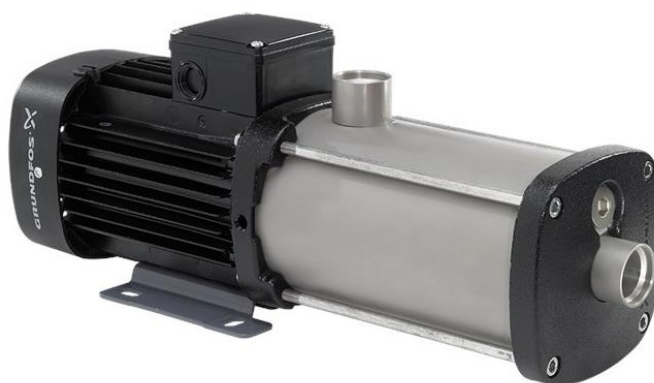




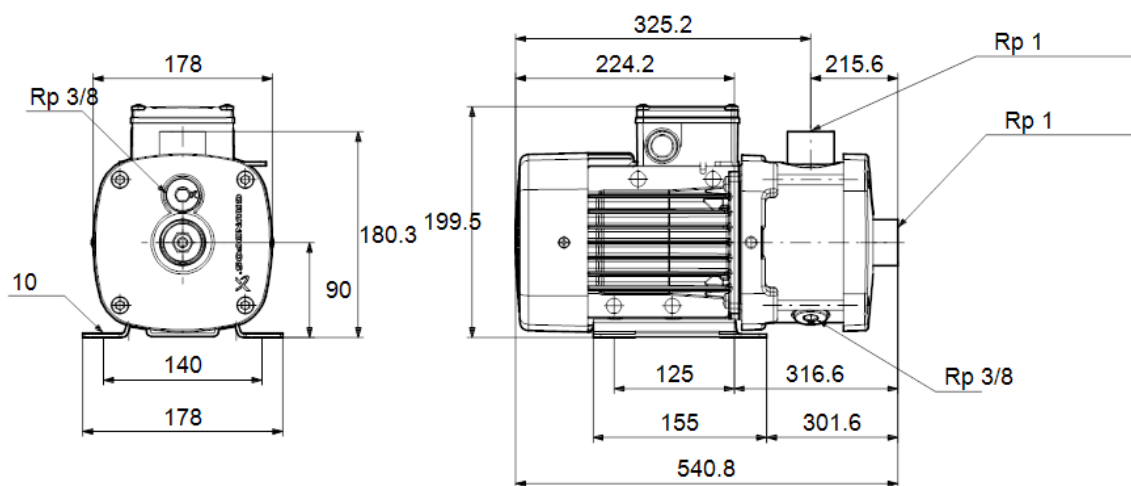
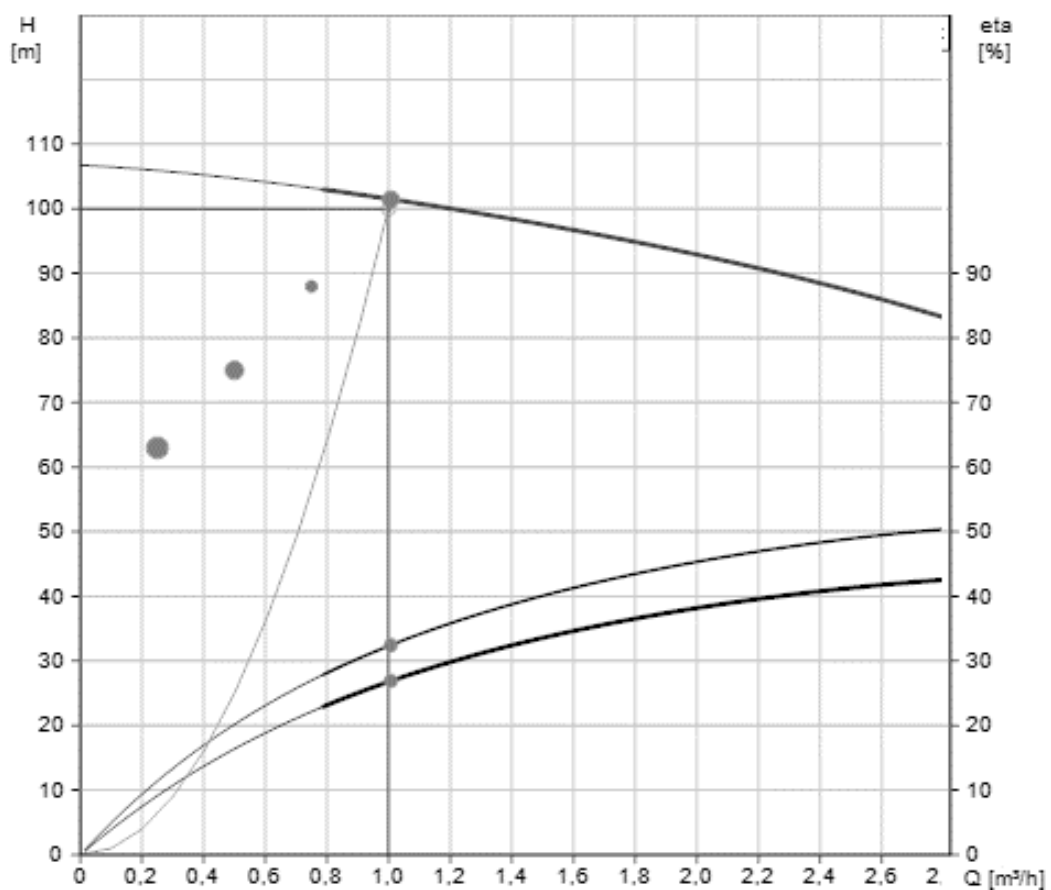
Obrázek 13 Velikost čerpadla čerpadla CME3-9 A-R-G-E-AQQE<sup>16</sup>

### 6.1.5 CM3-11 A-R-G-E-AQQE

Horizontální vícestupňové odstředivé čerpadlo. Všechny součásti jsou vyrobeny z nerezové oceli 1.4401. Čerpadlo má mechanickou ucpávku a k připojení do potrubí slouží příruba se závitem Rp 1. Toto čerpadlo je napájeno motorem na 380V s výkonem 1.5 kW. Motor obsahuje frekvenční měnič, ten umožňuje regulovat otáčky motoru. Hmotnost čerpadla je 23.5 kg. Maximální provozní tlak je 16 barů<sup>17</sup>.



Obrázek 14 Čerpadlo CM3-11 A-R-G-E-AQQE<sup>17</sup>



## 6.2 Kohouty

Vybírám kohouty od firmy Indcom.

### 6.2.1 MJ1010\_1

Vlastnosti:

Maximální pracovní tlak: 1,3 MPa

Materiál: nerezová ocel 1.4301, PTFE

Závit: vnitřní BSP-G 1"

Pracovní teplota: -20 °C až 180 °C

Typ: sedlový, šroubovací<sup>18</sup>



*Obrázek 17 Sedlový ventil MJ1010\_3/4<sup>18</sup>*

### 6.2.2 MB2022\_1

Vlastnosti:

Maximální pracovní tlak: 6,9 MPa

Materiál: nerezová ocel 1.4301, PTFE

Závit: vnitřní BSP-G 1"

Pracovní teplota: 0 až 120 °C

Typ: dvoudílný, kulový, šroubovací<sup>19</sup>



*Obrázek 18 Kulový ventil MB2022\_3/4<sup>19</sup>*

### 6.2.3 MB3010\_1

Vlastnosti:

Maximální pracovní tlak: 6,9 MPa

Materiál: nerezová ocel 1.4301, PTFE

Připojení pomocí navaření – G 1"

Pracovní teplota: 0 až 160 °C

Typ: třídílný, kulový, navařovací<sup>20</sup>



*Obrázek 19 Kulový ventil  
MB3010\_3/4<sup>20</sup>*

## 6.3 Přepouštěcí ventil

### 6.3.1 BPVT-25S

Přepouštěcí ventil vyrobený z nerezové oceli, vhodný pro kapaliny, plyny a páru. Místo kuželky má membránu s větší plochou, což umožňuje reagovat na změnu tlaku velmi přesně. Tento ventil se montuje s membránou pod osou potrubí a s manometrem nahoru. Seřizování otevíracího tlaku se provádí pomocí šroubu ve spodní části.

Připojení pomocí závitu G 1"

Rozsah tlaku 0,8 až 1,3 MPa

Pracovní teplota: -15 až 100 °C<sup>21</sup>



Obrázek 20 Přepouštěcí ventil BPVT-25S<sup>21</sup>

### 6.3.2 M 44-7

Tento přímočarý přepouštěcí ventil od firmy Samson z nerezové oceli je vhodný pro použití ve všech průmyslových aplikacích. Nastavování předepsaného tlaku pomocí šroubu na spodní části, tento ventil obsahuje membránu.

Připojení pomocí závitu G 1"

Kv: 4 m<sup>3</sup> /h

Rozsah tlaku 0,6 až 1,2 MPa

Pracovní teplota: 0 až 130 °C<sup>22</sup>



Obrázek 21 Přepouštěcí ventil M44-7<sup>22</sup>

## 6.4 Filtr

Volím šikmé filtry do potrubí z důvodu menších zástřbových rozměrů.

### 6.4.1 Potrubní filtr model 230

Je to šikmý filtr do potrubí. Materiál těla je 1.4408 a výměnné síto je 1.4401/7 s velikostí ok 0,5 mm. Je určen pro hrubou filtraci a instalaci do potrubí. Světlost filtru je 25 mm.

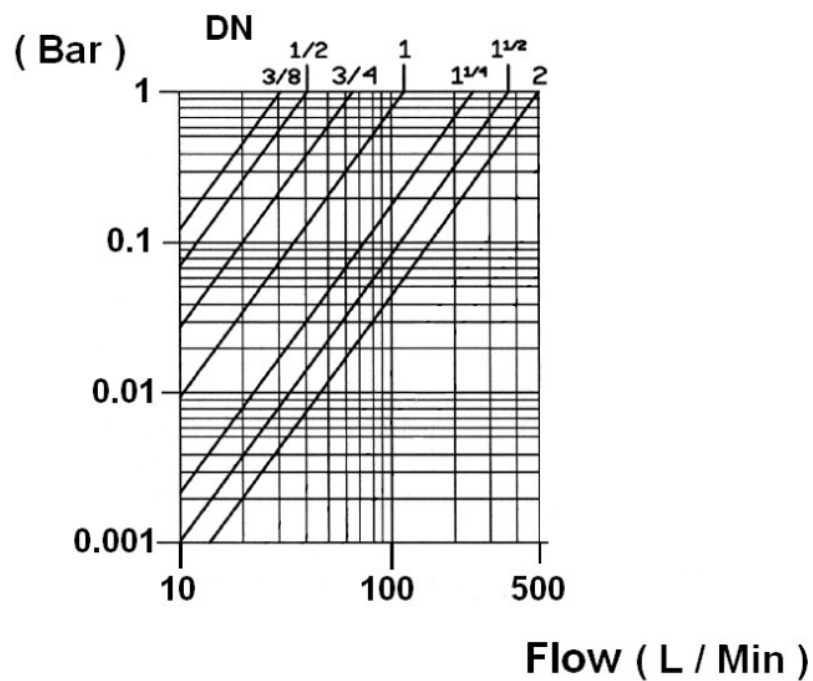
Připojení pomocí závitu G 1"

Rozsah tlaku 0 až 1,6 MPa

Pracovní teplota: -20 až 200 °C<sup>23</sup>



Obrázek 22 Potrubní filtr model 230<sup>23</sup>



Obrázek 23 Graf tlakové ztráty potrubního filtru modelu 230<sup>23</sup>

#### 6.4.2 BRA.10.000

Šikmý nerezový filtr pro vytápění, klimatizace a chemický průmysl. Pro instalaci do potrubí, ro horizontální i vertikální uložení.

Připojení pomocí závitu G 1"

Rozsah tlaku 0 až 4 MPa

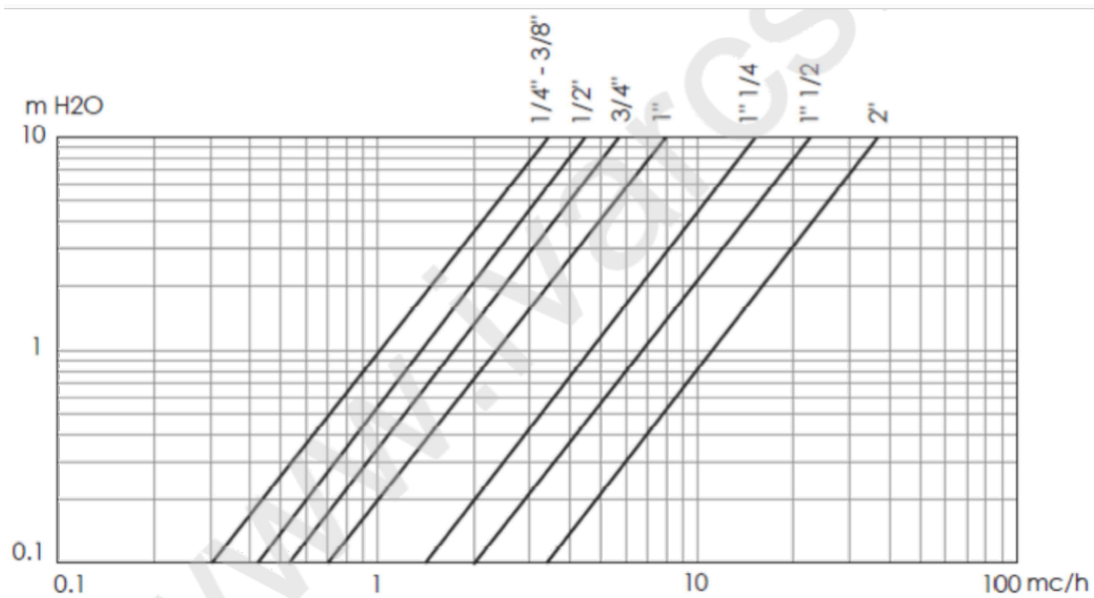
Pracovní teplota: -20 až 200 °C

Kv: 7,9 m<sup>3</sup> /h<sup>24</sup>



Obrázek 24 Potrubní filtr BRA.10.000<sup>24</sup>





Obrázek 25 Graf tlakové ztráty potrubního filtru BRA.10.000<sup>24</sup>

## 6.5 Tlakoměry

### 6.5.1 P 411 LM

Otřesu vzdorný tlakoměr s glycerinovou náplní a bourdonovým pérem.

Připojení pomocí závitu G 1/4"

Rozsah tlaku 0 až 10 MPa

Pracovní teplota: -20 až 70 °C

Průměr manometrů: 50 mm<sup>25</sup>



Obrázek 26 Manometr P 411 LM<sup>25</sup>

### 6.5.2 MNS115

Nerezový manometr určený pro měření agresivních látek se spodním připojením.

Připojení pomocí závitu G 1/4"

Rozsah tlaku 0 až 1,6 MPa

Pracovní teplota: -40 až 60 °C

Průměr manometrů: 63 mm

Třída přesnosti: 1,6 %<sup>26</sup>



Obrázek 27 Manometr MNS115<sup>26</sup>

### 6.5.3 PEME8AEB20R020

Nerezový digitální manometr pro měření plynů a kapalin s možností nastavení zobrazení tlaků v bar, kPa, MPa, PSI. Manometr je na baterie 2x1,5V AAA. Stupeň krytí IP 65.

Připojení pomocí závitu G 1/2"

Rozsah tlaku -1 až 2 MPa

Pracovní teplota: -10 až 70 °C

Průměr manometrů: 86x86 mm

Třída přesnosti: 0,025 %<sup>27</sup>



Obrázek 28 Digitální manometr PEME8AEB20R020<sup>27</sup>

## 6.6 Potrubí

Volím nerezovou trubku svařovanou 33,7 x 3 mm z materiálu 1.4301

Výrobní délka: 6000 mm

Váha: 2,27kg/m<sup>28</sup>



*Obrázek 29 Nerezová trubka<sup>28</sup>*

## 7 NÁVRH VÝBĚRU KONEČNÝCH PRVKŮ

Všechny vybrané prvky v obvodu musí být kvůli agresivitě močoviny vyrobeny z takových materiálů aby vlivem agresivity močoviny nezkorodovaly. Vhodnými materiály jsou plasty nebo nerez. Podle zadaných parametrů jsem určil tyto prvky:

Čerpadlo CME3-9 A-R-G-E-AQQE od firmy Grunfos. Toto čerpadlo má elektromotor, na kterém je umístěn frekvenční měnič, což umožňuje plynulou regulaci otáček a tím, v případě nutnosti, změnu výkonu.

K uzavírání potrubí bude sloužit dvoudílný nerezový kulový kohout od firmy Indcom MB2022\_1.

Stálý tlak bude zajišťovat přepouštěcí ventil od firmy Samson M 44-7, který obsahuje membránu, díky které je zajištěna velká citlivost ventilu.

Čistotu kapaliny bude zajišťovat potrubní filtr od firmy Armat typ Y model 230 s velikostí ok síta 0,5 mm.

O tlaku v kapalině bude informovat manometr MNS115, který může pracovat v rozsahu 0 až 1,6 MPa a v rozmezí teplot -40 až 60 °C s přesností 1,6%.

Prvky v obvodu budou spojeny pomocí holandského šroubení z důvodu snadné výměny při poruše. Jako potrubí budou sloužit svařované nerezové trubky.

## 8 VÝPOČET TLAKOVÝCH ZTRÁT

Všechny vzorce výpočtů v této kapitole byly převzaty z odborné literatury<sup>1-8</sup>.

Kulový kohout

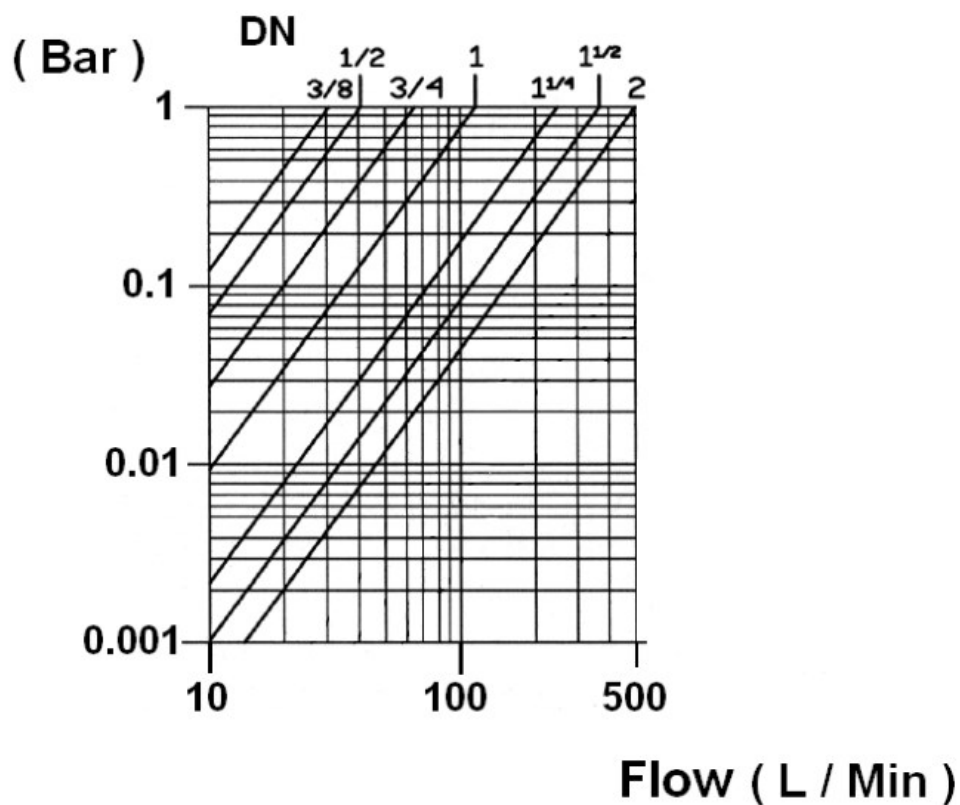
Z důvodu zvoleného velké průměru potrubí, aby byla zachována v celém systému stejná světlost tak na kulovém kohoutu vzniká zanedbatelná tlaková ztráta, proto sní nepočítám.

$$\Delta p_{zk} = 0 \text{ MPa}$$

Potrubní filtr

Z grafu můžeme vidět, že tlaková ztráta u filtru o velikosti G 1" při průtoku 16,67 l/min. je 0,03 barů (0,003 MPa)

$$\Delta p_{zf} = 0,003 \text{ MPa}$$



Obrázek 30 Graf tlakové ztráty potrubního filtru modelu 230<sup>23</sup>

Tlaková ztráta v potrubí

Obsah trubky

Světlost potrubí  $G1''=DN=25\text{ mm}=0,025\text{ m}$

$$S = \frac{\pi \cdot DN^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad 8.1$$

Rychlost proudění roztoku

Skutečný průtok trubkou je  $Q_{skut} = 2,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$$Q_{skut} = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q_{skut}}{S} = \frac{2,77 \cdot 10^{-4}}{4,9 \cdot 10^{-4}} = 0,57 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad 8.2$$

Výpočet kinematické viskozity

Dynamická viskozita vodního roztoku při  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  je  $0,0014 \text{ n} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$ . Z grafu č.1 jsme vyčetli, že vodný roztok močoviny má hustotu  $1130 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{0,0014}{1130} = 1,23 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \quad 8.3$$

Reynoldsovo číslo

Pokud vyjde  $Re \geq 2320$  bude proudění turbulentní a vypočítá se podle Blasiova vztahu, když bude  $Re \leq 2320$ , proudění bude laminární a výpočet se bude provádět podle Poiseuilleova vztahu.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,57 \cdot 0,025}{1,23 \cdot 10^{-6}} = 11\,585,36 \quad 8.4$$

$11\,585,36 \geq 2320 \Rightarrow$  Turbulentní proudění

Výpočet součinitele tření

Z výše vypočítaného Reynoldsova čísla jsme zjistili že proudění je turbulentní, proto budeme součinitel tření počítat pomocí Blasiova vztahu.

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{11585,36}} = 0,03 \text{ Pa} \quad 8.5$$

Tlaková ztráta v potrubí

Podle 3D modelu jsem zjistil, že délka potrubí a všech armatur je přibližně 1,5 m.

$$\begin{aligned} \Delta p_{zpot.} &= \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = 0,03 \cdot \frac{1,5}{0,025} \cdot \frac{0,57^2}{2} \cdot 1130 \\ &= 330,4 \text{ Pa} = 3,304 \cdot 10^{-4} \text{ MPa} \end{aligned} \quad 8.6$$

Celková tlaková ztráta

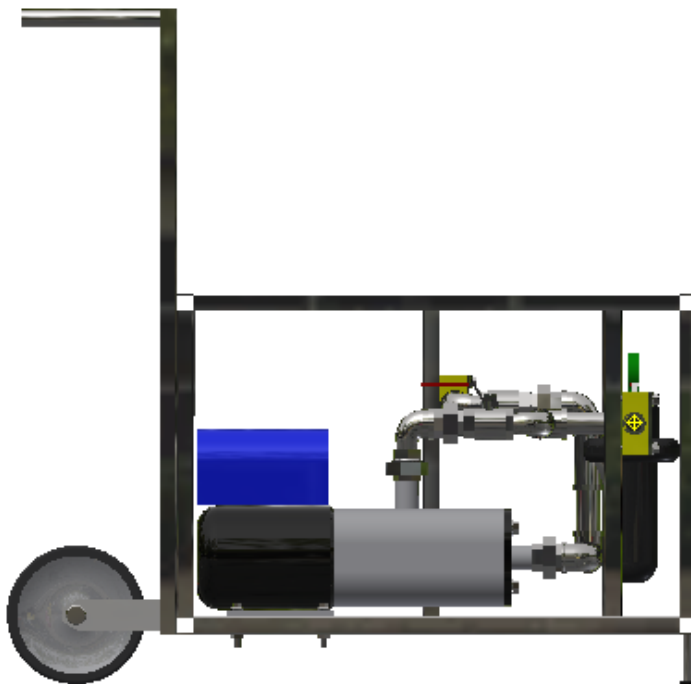
$$\begin{aligned} \Delta p_{celkové} &= \Delta p_{zk} + \Delta p_{zf} + \Delta p_{zpot.} \\ &= 0 + 0,003 + 3,304 \cdot 10^{-4} \\ &= 3,3304 \cdot 10^{-3} \text{ MPa} \end{aligned} \quad 8.7$$

V potrubním systému čerpacího modulu budou tlakové ztráty  $3,3304 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$ . Čerpadlo se dá regulovat a má dostatečnou rezervu. Nebude problém tyto ztráty v potrubí vykompenzovat.

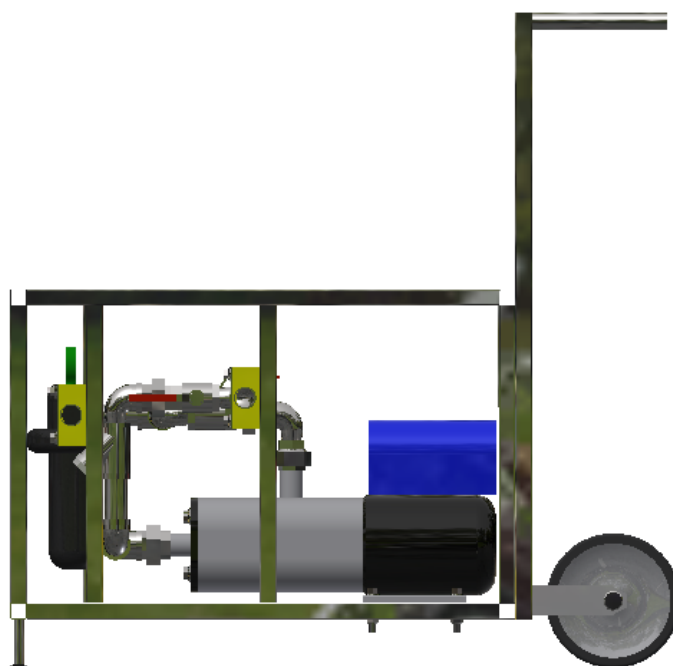


## 9 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

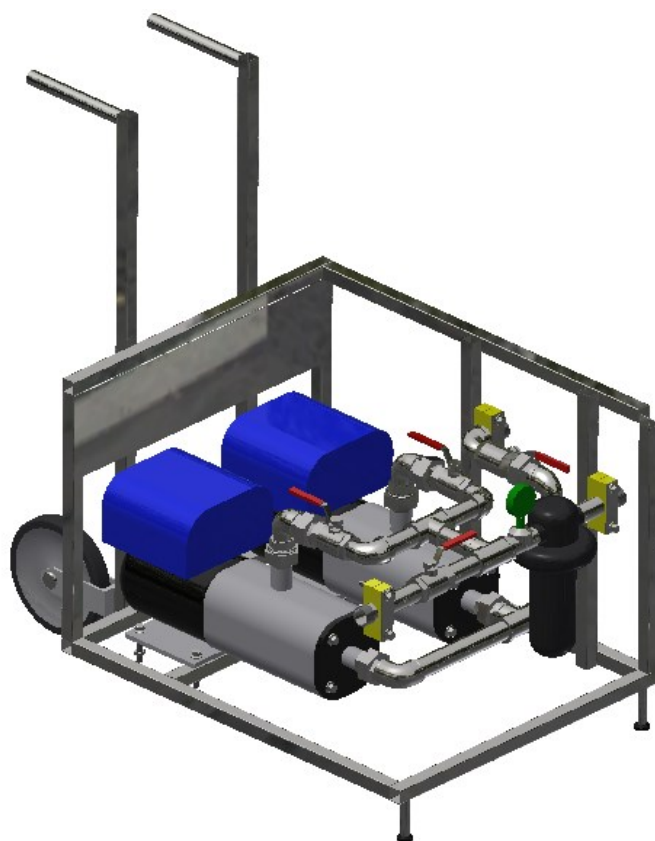
Všechny díly, sestavy a výkresy byly vytvořeny v programu Autodesk Inventor Professional 2019. Výkres sestavy je přiložen v příloze. Na obrázcích 31-33 je zobrazen čerpací modul.



Obrázek 31 Čerpací modul pravý pohled<sup>29</sup>



Obrázek 32 Čerpací modul levý pohled<sup>98</sup>



Obrázek 33 Čerpací modul s potlačeným rámem<sup>29</sup>

## 10 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá návrhem čerpacího modulu pro dopravu vodného roztoku močoviny. Modul byl navrhnut podle daných požadavků. Je to zdroj konstantního tlaku a průtoku, který je přenosný a má stoprocentní zálohu.

Hlavními prvky systému jsou dvě totožná čerpadla s elektromotorem, které jsou navrženy s dostatečnou rezervou, tudíž jsou schopny vyrábět potřebný tlak s dostatečným průtokem a v případě potřeby se mohou pomocí frekvenčního měniče zvýšit otáčky a tím se zvýší výkon čerpadla.

Před čerpadlem je potrubní filtr, který má nerezové síto o velikost ok 0,5 mm a tím zajišťuje dostatečnou filtraci kapaliny.

V obvodu se nachází přepouštěcí ventil, který hlídá dodržení předepsaného tlaku, při převýšení tlaku se ventil otevře a přebytečnou kapalinu odpustí zpět do IBC kontejneru.

Tlak v obvodu je možné sledovat pomocí tlakoměru. Odstavování jednotlivých čerpadel je zajištěno pomocí kulových ventilů. Ventily jsou také na vstupu a výstupu z čerpacího modulu a tím můžeme zajistit, aby se kapalina při přepravě z modulu nevylévala.

Ukončení trubek je opatřeno závity G1“, a tak je možné na ně našroubovat potřebnou koncovku.

Nosný rám je zkonstruován z ocelových čtvercových profilů 25x25 mm a přímo na rámu jsou umístěny úchyty potrubí. Potrubí a všechny armatury v obvodu jsou z chrom-niklové nebo chrom-nikl-molybdenové nerezové oceli nebo plastů, které jsou odolné vůči agresivitě močoviny.

Čerpadlo je potřeba před použitím umístit na rovný povrch pod hladinu čerpané kapaliny tak, aby byla čerpadla sama zatopila a před použitím se musí zkontrolovat těsnost všech spojů. Po ukončení provozu čerpadla je potřeba celý čerpací modul dostatečně propláchnout vodou, tak aby všechna močovina vytekla ven z modulu, protože zbytky močoviny můžou v systému zkrystalizovat a ucpat čerpadlo nebo jiné prvky čerpacího modulu.

## 11 SEZNAM ZDROJŮ

- [1] PAVLOK, Bohuslav. KOPÁČEK, Jaroslav. *Tekutinové mechanismy*. Ostrava, 1997, 157 s. VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 80-7078-238-2
- [2] BRADA, Karel. BLÁHA, Jaroslav. *Čerpací techniky*. Praha, 1991, 157 s. České vysoké učení technické. ISBN 80-01-00686-7
- [3] HRADIL, František. *Potrubní systémy 1. vydání*. Ostrava, 1994, 159 s. VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN: 80-7078-253-6
- [4] MEDEK, Jaroslav. *Potrubní technika*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1973, 244 s.
- [5] NECKÁŘOVÁ, Jarmila a Ladislav DOSKOČIL. *Potrubí a armatury*. Vyd. 2., přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 1978, 172 s.
- [6] PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy*. Díl 1, Kapaliny v hydraulických mechanismech, hydrostatické převodníky. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1999, 154. ISBN 80-7078-620-5.
- [7] *Hydrodynamika a hydrodynamické stroje* [online]. 2008 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: [www.338.vsb.cz/studium/skripta/](http://www.338.vsb.cz/studium/skripta/). VŠB-TU Ostrava.
- [8] PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy*. Díl 2, Řídicí prvky hydrostatických systémů, příslušenství hydrostatických obvodů. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 140. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [9] AdBlue. *Adam-bluesky* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: [www.adam-bluesky.cz/adbluer-aktualni-otazky-a-podrobnosti/](http://www.adam-bluesky.cz/adbluer-aktualni-otazky-a-podrobnosti/)
- [10] BLEJCHAŘ, Tomáš. *Hustota roztoku močovin* [počítačový program]. [cit. 2018-03-19].
- [11] *Slideplayer* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3320183/>
- [12] Autodesk, Inc. Autodesk Autocad Professional 2019[software]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.autodesk.cz/products/autodesk-inventor-family/overview>.
- [13] *Nerezová vícestupňová čerpadla Speroni VS 2* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.speroni.cz/cz/nerezova-vicestupnova-cerpadla-speroni-vs-2>
- [14] *Čerpadlo IN-VB-2 2-140* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.sigmet.cz/sortiment/prumyslova-cerpadla/cerpadla-ydrodynamicka/odstrediva-vertikalni-clankova>
- [15] *Čerpadlo CME1-9 A-R-G-E-AQQE* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from\\_suid=152477126912607086578606710349&pumpsystemid=368860528&qcid=368862132](https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from_suid=152477126912607086578606710349&pumpsystemid=368860528&qcid=368862132)

- [16] Čerpadlo CME3-9 A-R-G-E-AQQE [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from\\_suid=152477126912607086578606710349&pumpsystemid=368860528&qcid=368862132](https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from_suid=152477126912607086578606710349&pumpsystemid=368860528&qcid=368862132)
- [17] Čerpadlo CM3-11 A-R-G-E-AQQE [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [https://product-selection.grundfos.com/product-detail.catalogue.product%20families.cm%2C%20cme.html?from\\_suid=15247719055560030805325128014927&pumpsystemid=368860530&qcid=368863945](https://product-selection.grundfos.com/product-detail.catalogue.product%20families.cm%2C%20cme.html?from_suid=15247719055560030805325128014927&pumpsystemid=368860530&qcid=368863945)
- [18] Nerezový uzavírací ventil. *INDCOM INDUSTRIAL COMPONENTS* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [www.indcom.cz/nerezovy-uzaviraci-ventil](http://www.indcom.cz/nerezovy-uzaviraci-ventil)
- [19] Nerezový kulový kohout s plným průtokem, dvoudílný, závitový. *INDCOM INDUSTRIAL COMPONENTS* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [www.indcom.cz/nerezovy-kulovy-kohout-s-plnym-prutokem-dvoudilny-zavitovy](http://www.indcom.cz/nerezovy-kulovy-kohout-s-plnym-prutokem-dvoudilny-zavitovy)
- [20] Kulové ventily. *ARMAT spol. s r.o.* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [www.armat.cz/pdf/nerezovy-kulovy-ventil-tridilny-privarovaci.pdf](http://www.armat.cz/pdf/nerezovy-kulovy-ventil-tridilny-privarovaci.pdf)
- [21] Přepouštěcí ventil BPVT. *KP VALVES s.r.o.* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [www.kpvalves.cz/produkty/prepousteci-ventily/elic/](http://www.kpvalves.cz/produkty/prepousteci-ventily/elic/)
- [22] Přepouštěcí ventil M44-7 [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.samson.de/document/t25320en.pdf>
- [23] Potrubní filtr model 230 [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/nerezove-filtry.html>
- [24] Potrubní filtr BRA.10.000 [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.koupelny-venta.cz/66968,filtr-zavitovy-nerez-pro-vytapeni-klimatizace-a-chemicky-prumysl-bra-10-000.html>
- [25] Nerezový manometr P 411 LM [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.obchodcerpadel.cz/detail-produktu/nerezovy-manometr-tlakomer-s-glycerinovou-naplni-pr-50mm-zavit-14-spodni-0-10-bar-/#qtab=t1>
- [26] Nerezový manometr MNS1152 [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/p/581/nerezovy-manometr-016bar-63mm-g14>
- [27] Digitální manometr PEME8AEB20R020 [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.jsp.cz/cz/sortiment/sika/precizni-digitalni-testovaci-manometr-type-r.html>
- [28] Nerezová trubka [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/nerezove-trubky-a-jekly/nerezove-trubky-svarovane/>
- [29] Autodesk, Inc. Autodesk Inventor Professional 2019[software]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.autodesk.cz/products/autodesk-inventor-family/overview>.

## 12 SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A Výkres sestavy čerpacího modulu.

## 13 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma závody na výrobu močoviny <sup>11</sup> .....	8
Obrázek 2 Schéma čerpacího modulu <sup>12</sup> .....	10
Obrázek 3 Čerpadlo Speroni VS 2 2-15 <sup>13</sup> .....	11
Obrázek 4 Graf pracovní oblasti čerpadla Speroni VS 2 2-1 <sup>13</sup> .....	12
Obrázek 5 Čerpadlo IN-VB-2 2-140 <sup>14</sup> .....	13
Obrázek 6 Graf pracovní oblasti čerpadla IN-VB-2 2-140 <sup>14</sup> .....	13
Obrázek 7 Rozměry čerpadla IN-VB-2 2-140 <sup>14</sup> .....	14
Obrázek 8 Čerpadlo CME1-9 A-R-G-E-AQQE <sup>15</sup> .....	14
Obrázek 9 Graf pracovní oblasti čerpadla CME1-9 A-R-G-E-AQQE <sup>15</sup> .....	15
Obrázek 10 Velikost čerpadla CME1-9 A-R-G-E-AQQE <sup>15</sup> .....	15
Obrázek 11 Čerpadla CME3-9 A-R-G-E-AQQE <sup>16</sup> .....	16
Obrázek 12 Graf pracovní oblasti čerpadla CME3-9 A-R-G-E-AQQE <sup>16</sup> .....	16
Obrázek 13 Velikost čerpadla čerpadla CME3-9 A-R-G-E-AQQE <sup>16</sup> .....	17
Obrázek 14 Čerpadlo CM3-11 A-R-G-E-AQQE <sup>17</sup> .....	17
Obrázek 15 Graf pracovní oblasti čerpadla CM3-11 A-R-G-E-AQQE <sup>17</sup> .....	18
Obrázek 16 Velikost čerpadla CM3-11 A-R-G-E-AQQE <sup>17</sup> .....	18
Obrázek 17 Sedlový ventil MJ1010_3/4 <sup>18</sup> .....	19
Obrázek 18 Kulový ventil MB2022_3/4 <sup>19</sup> .....	19
Obrázek 19 Kulový ventil MB3010_3/4 <sup>20</sup> .....	20
Obrázek 20 Přepouštěcí ventil BPVT-25S <sup>21</sup> .....	21
Obrázek 21 Přepouštěcí ventil M44-7 <sup>22</sup> .....	22
Obrázek 22 Potrubní filtr model 230 <sup>23</sup> .....	23
Obrázek 23 Graf tlakové ztráty potrubního filtru modelu 230 <sup>23</sup> .....	24
Obrázek 24 Potrubní filtr BRA.10.000 <sup>24</sup> .....	24
Obrázek 25 Graf tlakové ztráty potrubního filtru BRA.10.000 <sup>24</sup> .....	25
Obrázek 26 Manometr P 411 LM <sup>25</sup> .....	26
Obrázek 27 Manometr MNS115 <sup>26</sup> .....	27
Obrázek 28 Digitální manometr PEME8AEB20R020 <sup>27</sup> .....	27
Obrázek 29 Nerezová trubka <sup>28</sup> .....	28
Obrázek 30 Graf tlakové ztráty potrubního filtru modelu 230 <sup>23</sup> .....	30
Obrázek 31 Čerpací modul pravý pohled <sup>29</sup> .....	33
Obrázek 32 Čerpací modul levý pohled <sup>29</sup> .....	33
Obrázek 33 Čerpací modul s potlačeným rámem <sup>29</sup> .....	34

## 14 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Hustota roztoku močoviny závislá na koncentraci <sup>10</sup> .....	7
Graf 2 Závislost rozpustnosti x kg močoviny v 1kg vody <sup>10</sup> .....	8